



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

SANDER VALDRE

Räni väetise mõju odra kasvule ja arengule
Impact of silicon fertilizer on barley yield and
development

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: Evelin Loit, PhD

Kristjan Tiideberg, MSc

Tartu 2021

EESTI KEELNE LÜHIKOKKUVÕTE

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------|------------|
| Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Bakalaureusetöö | |
| Autor: Sander Valdre | | Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine | |
| Pealkiri: Räni väetise mõju odra kasvule ja saagile | | | |
| Lehekülgi: 37 | Jooniseid: 14 | Tabeleid: 2 | Lisasid: 1 |
| Osakond: Põllumajandus ja keskkonnainstituut, Taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetool | | | |
| Uurimisvaldkond: Taimekasvatus (B309) | | | |
| Juhendaja(d): Evelin Loit, PhD; Kristjan Tiideberg, MSc | | | |
| Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2021 | | | |
| <p>Maailma rahvaarv on pidevas kasvutrendis, aastaks 2050 prognoositakse maailma populatsiooniks üle 9 miljardi inimese. Suurenenud nõudlus toidu järele sunnib põllumajandustootjaid suurendama tootlikkust ca 70-85% (Faostat, 2010). Globaalsest kliimasoojenemisest tingitud keerulisemad kasvutingimused ning suunitlus jätkusuutlikusele ning keskkonnanahoiule toob kaasa olukorra, kus järjest enam toimeaineid keelustatakse ja on võetud suund taimekaitsevahendite kasutamise vähendamisele. Räni on laboritingimustes näidanud häid tulemusi abiootilise ning biootilise stressi vähendamisel. Käesolev töö on katsepõhine, kus kahes erinevas põldkatses selgitatakse räni leheväetise mõju suvi-odra kasvule ja arengule ning saagile ja saagi kvaliteedile. Põldkatse I viidi läbi 2020. aasta suvel Viljandi katsekeskuse katsepõldudel ning põldkatse II Valgamaal asuval tootmispõllul. Katsetes kasutati räni sisaldavat leheväetist Optysil®. Katsed olid jagatud kahte gruppi, esimese katsegrupis lisaks räni leheväetisele täiendavaid põhiväetisi ei kasutatud, ning teises väetatud grupis anti põllule lisaks räni leheväetisele täiendavaid NPK väetisi toimeaines N100 kg/ha, fosfor ja kaalium oksiidina P80 kg/ha, K140 kg/ha. Põldkatses I oli kõiki variante neljas korduses. Põldkatses II Valgamaal oli samuti kaks katsegruppi, esimeses NPK väetisi ei kasutatud, ning teises grupis anti põllule põhiväetiseid normiga N100 kg/ha, P23 kg/ha ning K75 kg/ha. Proovid võeti kolmes korduses. Katselappidelt koguti kasvuperioodi vältel biomassi proovid ning koristuseelselt vihuproovid, mille teradest määrati ka kvaliteet. Põldkatses I oli räniga väetamisel positiivse suunaga trend odra üldbiomassile, kuid statistiline usutav puudus. Samuti ei mõjutanud räniga pritsimine saagikust ega saagi kvaliteeti. Põldkatses II tootmispõllul oli lehekaudsel räniväetisel positiivse suunaga mõju nii biomassile kui ka saagile. Põldkatses II saadi väetamata katsegrupis räni leheväetamise tulemusena enamsaaki 0,37 t/ha, NPK-ga väetatud grupis räni positiivne mõju puudus. Edaspidi peaks katset kordama uuel vegetatsiooniperioodil ning samuti peaks katsetama erinevaid turul pakutavaid räni sisaldavaid leheväetiseid.</p> | | | |
| Märksõnad: Odra, räni, leheväetis, Eesti, stress | | | |

INGLISE KEELNE LÜHIKOKKUVÕTE

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|---------------|
| Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Abstract of Bachelor's Thesis | |
| Author: Sander Valdre | | Specialty: Production and Marketing of Agricultural Products | |
| Title: Impact of silicon fertilizer on barley yield and development | | | |
| Pages: 37 | Figures: 14 | Tables: 2 | Appendixes: 1 |
| Department: Institute of Agricultural and Environmental Sciences Field of research: Field Crop Production (B390) Supervisors: Evelin Loit, PhD; Kristjan Tiideberg, MSc Place and date: Tartu 2021 | | | |
| <p>The world's population is on a steady growth trend, with a projected global population of over 9 billion by 2050. Increased demand for food is forcing farmers to increase productivity by about 70-85% (Faostat, 2010). The more difficult growing conditions due to global warming and the focus on sustainability and environmental protection are leading to a situation where more and more active substances are being banned and there is a trend towards reducing the use of plant protection products. Silicon has shown good results in reducing abiotic and biotic stress under laboratory conditions. The present work is experimental, where the effect of silicon leaf fertilizer on the growth and development of summer barley and on the yield and yield quality is explained in two different field experiments. The field tests were carried out in the summer of 2020 on the test fields of Viljandi Agricultural Research Center and on the production field in Valga County. Silicon-containing foliar fertilizer Optysil® was used. The experiment was conducted in two groups. In the first group no basic NPK fertilizers were used in addition to silicon foliar fertilizer, and in the second group additional NPK fertilizers were applied as N100 kg /ha, phosphorus and potassium as oxide P80 kg/ha, K140 kg/ha. There were four replicates for each treatment. In field experiment II, the production field in Valga County, there were also two experimental groups, in the first NPK fertilizers were not used, and in the second group, basic fertilizers with N100 kg / ha, P23 kg / ha and K75 kg / ha were applied to the field. Biomass samples were collected from the test plots for biomass analysis and grain samples were used for yield and quality evaluation. In field experiment I, silicon fertilization had a positive trend towards the total biomass of barley, but there was no statistically significant effect. Silicon spraying did not affect barley yield or quality parameters. In field experiment II in the production field, the foliar fertilizer had a positive effect on both biomass and yield. Foliar silicon fertilization added 0,37 t /ha for yield in the unfertilized experimental group. There was no positive effect in the NPK fertilized group. In the future, such experiment should be repeated in the new growing season and also various silicon-containing foliar fertilizers available on the market should be tested.</p> | | | |
| Keywords: Barley, silicon, foliar fertilizer, Estonia, stress | | | |

SISUKORD

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| EESTI KEELNE LÜHIKOKKUVÕTE | 2 |
| INGLISE KEELNE LÜHIKOKKUVÕTE | 3 |
| SISUKORD | 4 |
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE..... | 8 |
| 1.1 Oder | 8 |
| 1.1.1 Odra kasvutingimused | 8 |
| 1.2 Odra kasvutehnoloogia | 10 |
| 1.2.1 Külvikord..... | 10 |
| 1.2.2 Mullaharimine | 10 |
| 1.2.3 Külv | 11 |
| 1.2.4 Väetamine | 12 |
| 1.3 Räni ja mõju odrale | 13 |
| 1.3.1 Räni mõju stressifaktoritele | 14 |
| 1.3.2 Räni mõju toksiliste raskemetallide omastamisele | 14 |
| 1.3.3 Räni mõju taimehaiguste suhtes | 16 |
| 1.3.4 Leheväetis OPTYSIL® | 17 |
| 2. MATERJAL JA METOODIKA..... | 18 |
| 2.1 Katsete korraldamine ja läbiviimine..... | 18 |
| 2.1.1 Põldkatse I Viljandi katsekeskuses..... | 18 |
| 2.1.1.1 Kliimatingimused põldkatses I | 19 |
| 2.1.2 Põldkatse II tootmispõllul Valgamaal | 21 |
| 2.2 Kvaliteedi analüüsid | 22 |
| 3. TULEMUSED JA ARUTELU | 23 |
| 3.1 Põldkatse I üldbiomass ja roheliste lehtede osakaal | 23 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Põldkatse I saagikus | 25 |
| 3.2.1 Põldkatse I saagi kvaliteet | 26 |
| 3.3 Põldkatse II üldbiomass..... | 28 |
| 3.4 Põldkatse II saagikus | 28 |
| 3.5 Kliimatingimuste mõju | 30 |
| 3.6 Optysil ränipreparaadi majanduslik tasuvus..... | 31 |
| 4. KOKKUVÕTE | 32 |
| 5. KASUTATUD KIRJANDUS | 33 |
| LISA 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta..... | 36 |

SISSEJUHATUS

Efektiivne põllumajandustootmine on võtmetähtsusega saavutamaks toidujulgeolekut kasvava rahvastikuga maailmas. 2020 aastal elab maailmas ligikaudu 7.81 miljardit inimest, prognoositav rahvaarv 2050. aastaks on ligikaudu 10 miljardit inimest (Faostat, 2010). Kiiresti suurenev maailma rahvastik seab väljakutse põllumajandussektorile, mis seisab silmitsi üha keerukamate tingimustega. Globaalne kliimasoojenemine suurendab piirkonniti ekstreemsete ilmaolude esinemise sagedust, pikenenud põuaperioodid ning ebasoodsad talved võivad olulisel määral vähendada teraviljade saagikust.

Põllumajandustootjad on silmitsi seismas uute Euroopa liidu poolt kehtestatud regulatsioonidega, mis seavad piiranguid teatud taimekaitsevahendite edaspidiseks kasutamist tulevikus. Selleks, et teatud taimekaitsevahenditest loobumine ei saaks saaki limiteerivaks faktoriks, on vaja leida uusi keskkonnasõbralikke alternatiive, mis võimaldaksid säilitada toodangut endises mahus.

Laborikatsed on näidanud häid tulemusi räni väetiste mõjust odrale. On leitud, et räni kasutamine suurendab taime vastupanuvõimet abiootilisele ja biootilisele stressile, mille tulemusena paraneb kultuurtaime stressitaluvus kehvades kasvutingimustes ning väheneb erinevate kahjurite poolt tekitavate kahjustuste ulatus (Lamb, 2012) (Fauteux F. R.-B., 2005).

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli uurida põldkatsetes räni mõju suviotra üldbiomassile, saagikusele ning saagi kvaliteedile. Samuti anda hinnang ränipreparaadi majandusliku tasuvuse kohta.

Antud töö on katsepõhine, räni lehevätise mõju suviodrale uuriti 2020. aastal Viljandi katsekeskusesse rajatud katsetepõldudel ning ka tootmistingimustes Valgamaal.

Käesoleva uurimuse eesmärgist lähtudes püstitati järgmised hüpoteesid:

- Räni lehevätistega pritsitud taimed kasvatavad suurema biomassi
- Pritsitud katsevariantide saagikus on suurem
- Paraneb saagi kvaliteet räniga pritsitud katsevariantides

Suurimad tänusõnad kuuluvad Evelin Loidile ja Kristjan Tiidebergile bakalaureusetöö aluseks olnud katsete korraldamise ning lõputöö läbiviimisel abistamise eest. Lisaks soovin

tänada ka Liili Hirsnikut vihuproovide analüüsimise eest laboris. Töö valmis Maaeluministeeriumi poolt toetatud ERA-Net Cofund FACCE SURPLUS projekti „Seleeni ja räniga rikastatud ja kliimaatiliste tingimustega kohanenud toidu ja sööda tootmine vähemväärtuslikul mullal“ raames. Seemnete ja ilmajaama eest täname ettevõtteid Viru Seeme, Dotnuva Baltic ja Baltic Agro.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Oder

Oder (*Hordeum vulgare*. L) on kõrreliste sugukonda kuuluv teravili, mida tarbitakse laialdaselt nii toiduviljana jahu, tangude ning õlle valmistamisel kui ka jõusöödana veiste ning sigade söödaratsioonides. Odra võib pidada üheks vanimaks viljelemiskultuuriks, mis pani aluse esmasele põllumajandusele. Vanimad säilinud odrajäänused pärinevad Vahemere idakaldalt, Lähis-idast kunagise Mesopotaamia tsivilisatsiooni aladelt, mis paiknes tänapäeva Iraagi, Süüria, Liibanoni, Iisraeli jt aladel (Zohary, Hopf 1993 ; Diamond 1998). Leidude analüüsimisel on hinnatud odra viljeluse (*Hordeum vulgare* L.) algusajaks 8000 aastat e.m.a.

Odra saab viljapea tüübi alusel liigitada kahe- ja kuuerealiseks. Looduses kasvab oder kaherealisena, viljapeas on kaks rida seemneid ning terasaak pea kohta varieerub 25-30 seemne vahel. Aretatud on ka kuuerealisi odrasorte, mille viljapeas on sõltuvalt väetamise intensiivsusest 25-60 tera.

Odrakasvatus on maailmas kasvupinnalt neljandal kohal, mida kasvatatakse ligikaudu 50 miljonil hektaril. Kõige suurema osakaaluga toidu - ja söödakultuur on nisu, mida viljeletakse ligikaudu 214 miljonil hektaril, järgneb mais 190 miljoni hektariga ning kolmandal kohal on riis, mida kasvatatakse ligikaudu 167 miljonil hektaril (FAO, 2018). Suurimad odrakasvatajad maailmas on Venemaa (20,5 miljonit tonni, 13,8%), Austraalia (13,5 miljonit tonni, 9%) ning Saksamaa (10,8 miljonit tonni, 7,3%).

1.1.1 Odra kasvutingimused

Erinevate ilmastiku- ja mullastikutingimuste suhtes on oder võrreldes teiste teraviljadega vähenõudlikum. Minimaalne temperatuur odraterade aeglaseks idanemiseks kevadel on +1...3°C, ühtlaseks idanemiseks on vajalik temperatuur üle +5 °C.

Suviviljadest on aga oder öökülmades suhtes tundlikum kui teised teraviljad. Suviodra puhul on ohuks kevadine öökülm odra tärkamise faasis, küll on aga põhjapoolsetes riikides aretatud uusi sorte, mis on külmaga paremini kohanenud.

Odrakasvatuseks on eelkõige sobilik jahe ning niiske kliima, mis soodustab varajase külvi puhul tärkamisjärgsel perioodil võrsumist ning tugeva juurekava arengut. Oder on tundlik kõrgetele temperatuuridele (üle +20 °C), ning põuale kõrsumisfaasist loomisfaasini (30-40% kogu veetarbimisest), ebasoodsate kliimatingimuste puhul väheneb üldbiomass ning saagikus.

Alates idanemisest terade täisküpsuseni vajab oder aktiivseid temperatuure (üle +10 °C) summas 1200 – 1400 °C.

Taliodrale võivad tekkida esimesed külmakahjustused vähese lumega talvel alates -15C. Olenevalt külvikorrast ja mulla viljakusest loetakse optimaalseks sügiseseks lämmastikunormiks 15-20kg/ha. Taliotra liigne lämmastikuga väetamine muudab taime külmale tundlikumaks. Talvitumisele mõjuvad positiivselt ka Mn, Cu ja Mo sisaldavad väetised, mis imenduvad taimemahla ning takistavad selle külmumist.

Veevajadus on oluline taliodral aprillist juuni lõpuni, mil taim vajab 1 tonni terasaagi moodustamiseks 25-30l vett m², 1mm sademeid ruutmeetrile on võrdne ühe liitriga. Seega näiteks 7 tonnise terasaagi jaoks oleks vaja sellel perioodil umbes 200mm sademeid.

Oder eelistab kasvada kobedas hea vee- ja õhurežiimiga neutraalses või nõrgalt happelises mullas, pH alla 5,8-6.0 võib mõjuda saagikusele negatiivselt.

Kuumastressile on oder vastupidavam kui teised teraviljakultuurid. Odra peal olevad pikad ohted ja väike lipuleht ei lase taimel kergesti üle kuumeneda. Odra lipulehe pind on võrreldes nisuga väiksem ja on suunatud tipuga taeva poole, mis vähendab päikese intensiivsust lehele. Nisu lipuleht on aga seevastu suure lehepinnaga ning maa poole lookas, mis kuumadel päikesepaistelisel päeval taimemahla nii öelda kuumaks kütavad, põhjustades taimel kuumastressi.

Muldadest sobivad odrakasvatuseks eelkõige neutraalse reaktsiooniga kerge lõimisega mullad. Suhteliselt väikese juurestiku tõttu vajab oder rohkesti toitaineid, eriti kasvu alguses (MES nõuandeteenistus, 2021).

1.2 Odra kasvutehnoloogia

1.2.1 Külvikord

Külvikorra planeerimisel tuleb arvestada, et oder ei talu hästi iseendale järgnevust. Parimateks eelkultuurideks on rühvelkultuurid, liblikõielised ja raps/rüps, millel on teraviljadest erinevad kahjurid ning haigustekitajad. Teraviljadest sobib odrale kõige paremini eelviljaks talirukis ja talinisu. Enesele järgnedes tekivad haigustele ja kahjurite arenguks sobilikud tingimused, mille tulemusena saagikus langeb. Teraviljakeskne külvikord loob haigustele ja kahjuritele sobilikud paljunemistingimused, mille tulemusena suureneb taime tervena hoidmiseks kasutatavate taimekaitsevahendite kogus.

1.2.2 Mullaharimine

Mullaharimise eesmärk on taimetele sobilike kasvutingimuste loomine. Sügisel, peale kultuuri koristust, tuleks esimesel võimalusel teostada kõrrekoorimine, et teravilja varis ja umbrohuseemned saaksid mullaga kontakti ning hakkaksid idanema. Kui põllul on probleemiks juurumbrohtude laialdane levik, tuleks rakendada kurnamismeetodit ehk mitmekordset koorimist ketasrandaaliga. Eesti põldudel on kõige populaarsemaks risoomidega levivaks umbrohuks orashein. Orasheina risoomid paiknevad keskmiselt 8-15cm sügavusel, seega peaks randaali töösügavus olema umbes sama sügav, et juured saaksid tükeldatud. Kuna tükeldatud risoomidest arenenud uued taimed toituvad enne fotosünteesi algust intensiivselt 2-3 lehe faasini juurde talletatud varuainetest, peaks selles faasis järgnema keemiline tõrje üldhävitava herbitsiidiga, või teine koorimine randaaliga, millele järgneb samasse kasvufaasi jõudes sügav sügiskünd. Selliste agrotehniliste võtete rakendamisel on eelkõige maheviljeluses võimalik edukalt orashein põllult tõrjuda. Tuleb meeles pidada, et kevadel ei ole soovitatav juurumbrohtudega umbrohtunud põllul ketasrandali kasutada, sest see suurendaks levikut veelgi.

Kuna paljud haigustekitajad ning taimekahjurid säilivad just taimejäänustel, siis kvaliteetne künd või sügavam kõrretöötlemine on oluline piiramaks põllul levivate haigustekitajate ja kahjurite arvukust.

Külvieelse harimise eesmärkideks on kultuurtaimele ühtlase seemnepõhja loomine, mis tagab ühtlase tärkamise, umbrohtude mehhaaniline tõrje ning veevaru säilitamise.

1.2.3 Külv

Külvitehnika on üks olulisemaid tegureid, millest sõltub suuresti sügisel koristatava saagi kogus. Kvaliteetne külv tagab taimede ühtlase idanemise, optimaalse taimede arvu m^2 , mis võimaldab saada suurimat saaki kõige efektiivsemalt. Külviks on soovituslik kasutada sertifitseeritud seemet, mille puhul on teostatud kontroll, et seeme on sordipuhast, ei sisalda umbrohuseemneid ega võõrliike, on hea idanemisvõimega ning pole nakatunud haiguste ega kahjuritega. Taimede nakatumise vältimiseks seenhaigustesse on soovitatav seemneid enne külvi puhtida, mis vähendab oluliselt taimehaiguste esinemise sagedust ning vähendab hiljem vajaminevate fungitsiidide koguseid. Suvi- ja talidra sortidest on Eesti sordilehel 2013. aasta seisuga 32 sorti, neist; 2 varajast, 6 keskvalmivat, 24 hilist. Talidra sorte on sordilehel nimekirjas 4.

Suvi- ja talidra seemned on idanemisvõimelised alates $+1..2$ soojakraadist ning tõusmed kannatavad ka öökülma kuni -7 kraadini. Eesti tingimustes külvatakse suvi- ja talidra maha aprilli 2. dekaadi paiku, kui tingimused seda võimaldavad. Talidra peaks saama külvatud septembri I dekaadi lõpuks. Optimaalseks külvisügavuseks odra külvil on 2-3 cm, külvisügavus oleneb konkreetse põllu mullastikust ning veerežiimist. Raskematel muldadel eelistada madalamat sügavust ning kergematel muldadel võib külvata sügavamale. Talidra puhul on optimaalne külvata 250-350 idanevat seemet/ m^2 , suvi- ja talidra külvatakse 400-500 idanevat seemet/ m^2 (Põllumajandusamet, 2020).

Suvi- ja talidra pölde on soovituslik peale külvi rullida. Rullimine tagab seemne ja mulla vahel parema kontakti ning taastab kapillaarse veetõusu sügavamatest mullakihtidest, mis parandab taime veekättesaadavust ning suurendab idanevust. Rullimine on eriti oluline kerge lõimisega muldade puhul, milles on vähe niiskust. Peale rullimist saab umbrohut mehhaaniliselt tõrjuda äestamisega, mida kasutatakse valdavalt maheviljeluses. Esimene äestamine teostatakse vahetult enne suvi- ja talidra tärkamist kui umbrohud on jõudnud idulehefaasi. Teine äestamine teha suvi- ja talidra 3-4 lehe faasis (BBCH 13-14). Äestamiseks on sobilik päikesepaisteline ning tuuline ilm, mis kuivatab maapinnale sattunud umbrohud. Tuleb jälgida ka pikemat ilmaennustust, sest vihma korral võivad mullas seni idanemata

umbrohud kasvama hakata. Äestamine aitab ka säilitada mullas niiskust, pindmine mullakihi segamine katkestab kapillaarse veetõusu alumistest mullakihtidest, mille tulemusena väheneb aurumine (Põllumajandusamet 2020).

1.2.4 Väetamine

Toitainete puudus on teraviljade üheks suurimaks saaki limiteerivaks faktoriks. Taime normaalseks arenguks ja saagikuse tõstmiseks on vaja tagada kindlate keemiliste elementide kättesaadavus õigetes kogustes. Toitainete vajaduste hindamiseks on oluline teha mullaanalüüse, mis annab täpse ülevaate põllu mullaseisundist. Analüüside tulemusena selgitatakse välja konkreetse põllu orgaanilise süsiniku sisaldus %, mulla pH, erinevate makro – ja mikroelementide kontsentratsioon mullas – P, K, Ca, Mn, Cu, B, S. Analüüside tulemuste põhjal moodustatakse väetustarbe kaardid, mida järgides koostatakse väetusplaan.

Oder, nagu ka teised teraviljad, reageerib hästi orgaanilistele väetistele. Kuna tavatootmis meetodit rakendades võib teravilja ja rapsi rohkes külvikorras orgaanilise süsiniku sisaldus mullas väheneda, siis orgaaniliste väetiste kasutamine aitab säilitada mulla süsiniku sisaldust, lisaks suureneb mulla bioloogiline aktiivsus mikroorganismide läbi, mille tulemusena paranevad mullaomadused. Parim aeg orgaanilise väetise laotamiseks on sügisel mullaharimise alla. Jälgida tuleb veeseadust, et sõnnikuga antavad toiteelemendid jääksid normide piiresse. Vastavalt kehtivale Veeseadusele tohib sõnnikuga anda 170 kg lämmastikku ning 25 kg fosforit hektarile.

Väetusplaani koostamisel pannakse paika planeeritav saak, mille järgi on leitav vajamineva lämmastikväetise hulk. PK - ja mikroväetiste vajadus määratakse konkreetse põllu antud elemendi väetustarbe klassi järgi, mis on kindlaks määratud mullaproovide tulemusena.

Keskmiselt läheb näiteks suviodral 5 t/ha saagi moodusutamiseks vaja elemendina 100kg N, 25kg P ja 60kg K. Taliotra 7 t/ha saavutamiseks oleks vaja põllule anda 145 kg/ha N, 26 kg/ha P ja 80 kg/ha K (Kanger, 2014)

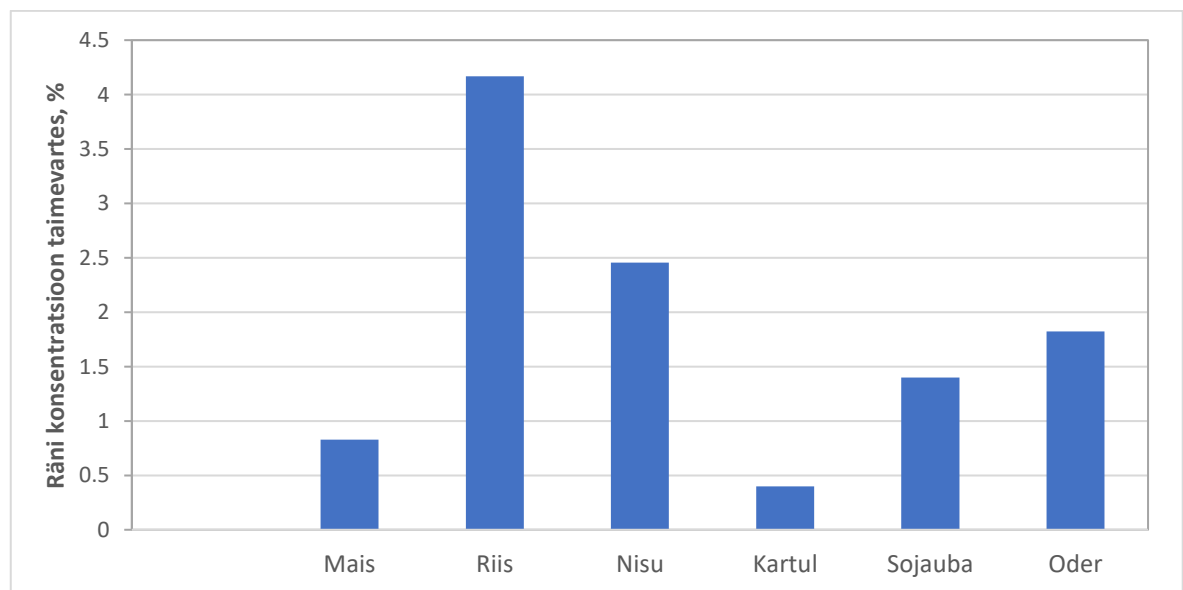
Optimaalsest suuremate lämmastikunormidega väetamisel suureneb odral oluliselt lamandumisoht, suurenenud viljapea kaalu tõttu võib pikemaks kasvanud kõrs kergemalt murduda. Viljapea moodustumisel on ohuks juuli – augusti tugevad tuuled ning kohatised tugevad vihmahood, mille tulemusena võivad pikenenud kõrred murduda.

1.3 Räni ja mõju odrale

Globaalne kliimasoojenemine on oluliseks teguriks põhjustamaks taimedele üha enam abiootilist stressi. Kiimamuutuste tõttu on taimedele mittesobilike põuaaperioodide esinemise sagedus ja kestvus suurenenud. Uurimused on kinnitanud, et normaalsest kõrgemad õhutemperatuurid mõjutavad negatiivselt taimede kasvu ja arengut (Lamb, 2012), fotosünteesi (Todorov D, 2013), transpiratsiooni (Crawford AJ, 2012), veepotentsiaali (Greer DH, 2012), toitainete ja ionide tasakaalu (Soundararajan P, 2014), klorofüllide sisaldust (Hussain I, 2016), antioksüdantset kaitsesüsteemi (Bita C, 2013), ning väheneb saagikus (Wahid A, 2007).

Vastupanuvõimet kuumastressile on võimalik suurendada külvisemnete eeltöötlemisega (puhtimine) (Wahid A, 2007) ning agrotehniliste võtetega. Eelkõige tuleb tähelepanu pöörata korrektsele väetamisele, tagamaks taimedele vajalike elementide kättesaadavus ja omastatavus õigetes vahekordades, tervetel ja tugevatel taimedel on parem vastupanuvõime kuumastressile.

Kuigi taimede kasvu seisukohast pole räni otseselt hädavajalik element, on sellel siiski märkimisväärne positiivne mõju. Mitmete taimeliikidel on räni kasutamise positiivne mõju ilmnunud eelkõige erinevates abiootiliste ja biootilistes stressitingimustes, samuti on räni väetiste kasutamise tulemusena suurenenud teiste taimetoiteelementide omastatavus mullast.



Joonis 1. Räni kontsentratsioon taimevartes, % kuivkaalust (FAO, 2008).

Räni kontsentratsioon taimedes varieerub suuresti (joonis1). Erinevaid liike uurides on räni osakaal varieerunud 0.1% kuni 10% taime kuivkaalust (Epstein, 1999), (Hodson MJ, 2005).

Suurem on räni kontsentratsioon ühekojalistes taimedes, kahekojalistes taimedes on sisaldus väiksem.

1.3.1 Räni mõju stressifaktoritele

Mitmed teadusuuringud on kinnitanud räni suudab vähendada füüsikaliste stressivormide kahjulikku mõju taimedele. On täheldatud positiivset mõju kõrge kiirguse, külma-ja kuuma temperatuuri, tuule, põua ja ülavee, muutlike valgustingimuste jt suhtes.

Põuatingimustes sulgeb taim õhulõhed, aeglustamaks vee aurumist läbi õhulõhede. Õhulõhede sulgemise tulemusena väheneb aga fotosünteesi protsess, kuna CO_2 on fotosünteesi peamiseks lähteaineks ja siseneb taime lehtedesse õhulõhede kaudu.

Räni kasutamine võib leevendada põuastressi vähendades transpiratsiooni. Vee aurumine taimest toimub põhiliselt läbi õhulõhede, kuid osaliselt eraldub vett ka läbi lehe välimist epidermkude katva kutiikula. Kutikula on taime lehti, noori võrseid ja muid osi kattev kaitsekile. See koosneb vahaga immutatud lipiididest ja süsivesinikpolümeeridest ning seda sünteesitakse ainult epidermi rakkudes. Kutikula kaitseb taime kuivamise ja väliskeskkonnatingimuste eest, nagu näiteks dehüdratsioon, UV-kiirgus, tuul ja vihm, aga ka putukate ja seente eest, mis võivad taime oluliselt kahjustada. Selline kude on seega oluline alusuuringutes, põllukultuurides ning kvaliteedi parandamise seisukohalt.

Räni moodustab taime välise epidermkoe ja kutiikula vahele nii-öelda topelt kaitsekihi, mis aitab vähendada vee aurumist taimest (Ma JF, 2001), ning samuti toimib kaitsekihina taimehaiguste ja kahjurite vastu.

1.3.2 Räni mõju toksiliste raskemetallide omastamisele

Muldade saastumine raskemetalliliste elementidega inimtegevuse tulemusena ning raskemetallide sisalduse liigsus mullas piirkonniti tingitud geograafilistest iseärasustest on maailmas laialdaselt levinud.

Taimedele toksiliste raskemetallide olemasolul mullas tekitab kultuurtaimedele mitmeid füsioloogilisi häireid, sealhulgas väheneb taime kasv ning üldbiomass, on pärsitud fotosünteesi normaalne protsess ning teiste oluliste toiteelementide omastamine.

Alumiinium (Al) on maakoos leiduv hapniku (47.4%) ning räni (27,7%) järel sisalduselt kolmas element, mille sisaldus litosfääris on keskmiselt 8.2% (C, 1998). Alumiiniumi toksilisus on üheks olulisimaks taimekasvatuse tootlikkust piiravaks teguriks happelistel muldadel, mis moodustavad maailma mullastikust ligi 40% (Kochian, 1995). Alumiinium on neutraalse reaktsiooniga muldades taimedele vähem ohtlik. Happelistes muldades muutub aga alumiinium reaktsioonide tulemusena mullalahuses omastatavasse vormi, tekib liikuv alumiinium, mis on taimedele toksiline. Oder on maailmas teraviljade tootmismahitudelt neljandal kohal, ning uuringute tulemusena on leitud, et oder on happeliste muldade suhtes tundlikum kui rukis, kaer, riis ning nisu (Bona L, 1993) (Ishikawa S, 2000).

Uurimuste tulemustena on leitud, et alumiiniumi stressi tingimustes kasvavatel taimedel esinevad häired teiste toitainete omastamises nagu kaltsium, magneesium, raud, molübdeen, väheneb fosfori kättesaadavus. Samuti võib alumiinium põhjustada mangaani ja vesiniku mürgistust (Alam SM, 1980), (Foy C. D., 1984), (Foy C. D., 1988), (Foy C. D., 1992). Häired on tingitud alumiiniumi negatiivsest mõjust taimejuurtele, mis pärsib juurte pikkuskasvu, tekivad tursed ning rakkude diferentseerumine, samuti muutused juurte värvuses (Foy C. D., 1987), (Bergmann, 1992), (Hossain, 2005).

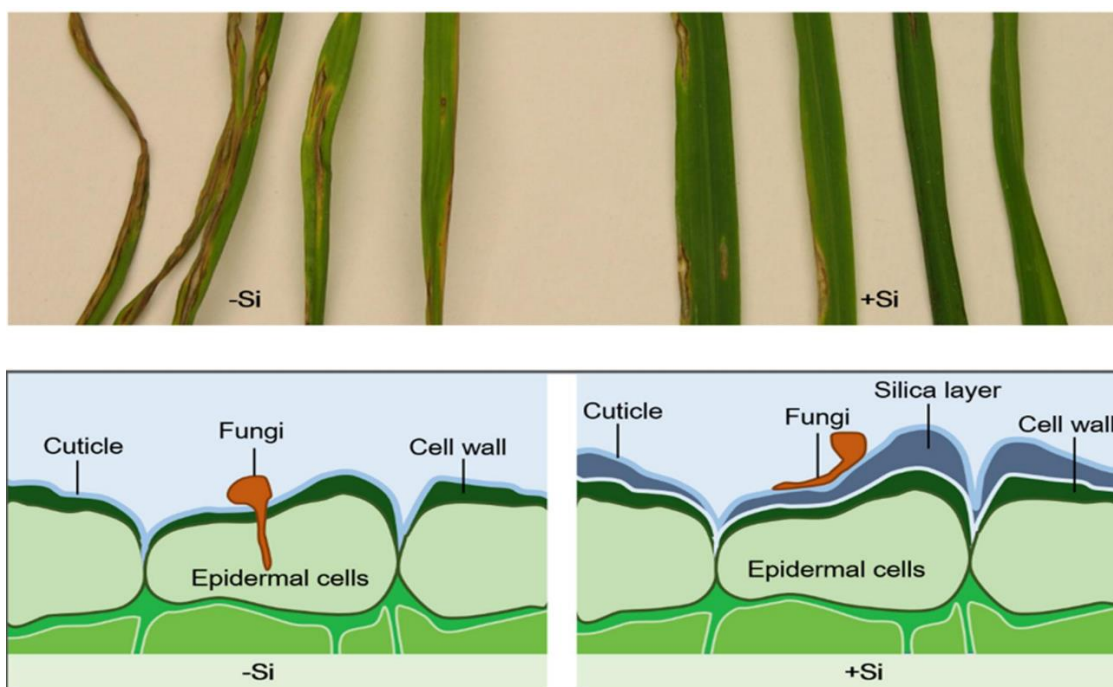
Alumiiniumi mürgistusest tingitud muutused juuresüsteemis takistavad vee- ja toitainete kättesaadavust mullast, mille tulemusena väheneb üldbiomassi kasv ja väheneb saagikus (Alam, 1981), (Clarkson, 1966), (Foy C. D., 1983), (Foy C. D., 1967).

Alumiiniumi toksilisust on võimalik vähendada põldude lupjamisega, mis muudab mulla reaktsiooni aluselisemaks. Räni kasutamisel on leitud märgatavaid tulemusi vähendamaks alumiiniumi mürgitusest tingitud stressi taimedel happelistes muldades. Kim E. Hammondi jt läbiviidud uurimuses uuriti alumiiniumi mõju odrale happelises mullas pH 4,5. Taimi töödeldi 25 ning 50 $\mu\text{mol/L}$ alumiiniumi lahusega kombineerituna 0, 1.4, 2.0 ning 2.8 mM räni preparaadiga. Tulemustest selgus, et räni vähendas oluliselt alumiiniumi toksilist mõju odra juurte ja varte kasvule, samuti taastati kaltsiumi sisaldus taime juurtes ning vartes koristuse faasiks sarnasele tasemele võrreldes kontroll variandiga, kuhu alumiiniumit ei lisatud (Hammond, 1995).

1.3.3 Räni mõju taimehaiguste suhtes

Põllumajandustootmises on taimehaigustel märkimisväärne negatiivne mõju saagikusele ning saagi kvaliteedile. Räni positiivset efekti taimehaiguste suhtes on uuritud mitmetes uurimustes. Räni on suurendanud vastupanuvõimet nii seen- kui ka bakterite poolt tekitavatele taimehaiguste suhtes erinevatel taimeliikidel (Fauteux F. R.-B., 2005).

Räni kasulik mõju taimearengus avaldub võimes parandada taime üldist mehaanilist tugevust ning täiendada välimist kaitsekihti (Epstein, 1999). Taimehaiguse väljakujunemiseks peab patogeen nakatumiseks tungima läbi taime välise kaitsekihi taimerakku. Kutiikula – taimelehti ja muid osi kattev kaitsekiht mis koosneb peamiselt vahaga immutatud lipiididest ja süsivesinikpolümeeridest kaitseb taimi väliskeskkonna tegurite eest, sealhulgas takistab patogeenide tungimist taime. Räniga töödeldud taimede suurenenud vastupanuvõime haigustekitajale on seotud võimega muuta lehe välimised epidermrakud tihedamaks, moodustub paks ränidioksiid kiht kutiikula alla, mis toimib täiendava kaitsekihina (joonis 2). Täiendav füüsiline kaitsekiht pärsib patogeenil taimerakku tungimist, suurenenud vastupanuvõime aitab vältida rakkude lagundamist seenhaiguste poolt (Inanaga, 1995), (Fauteux F. R.-B., 2005) .



Joonis 2. Riisipuhangu sümptomid riisitaimedel räniga töötlemata (-Si vasakul) ja töödeldud taimedel (+Si paremal) (Sun et al., 2010).

1.3.4 Leheväetis OPTYSIL®

Optysil on taimedele omastavat räni sisaldav toode - kontsentratsioon 93g Si ühes liitris tootes, millel on taime kasvule ja arengule positiivne efekt. Toode sisaldab ka rauda 24g Fe ühes liitris. Raud stimuleerib klorofüllide sünteesi ning suhkrute transport taimes muutub intensiivsemaks. Optysil® on lehekaudne vedelväetis, mis aktiveerib taime naturaalse immuunsüsteemi, parandades kaudselt taime kasvu ja arengut. Toode vähendab erinevate stressifaktorite mõju taimele, millel on negatiivne efekt taime normaalsele arengule. Toote kasutamisel paraneb oluliste makro- ja mikro elementide omastamine mullast, leevendab ajutisest põuast ning mulla soolsusest tingitud negatiivset mõju, samuti pärsib taimetele toksiliste raskemetallide omastamist mullast. Leheväetise kasutamisenä muutuvad taimeraku seinad tugevamaks, mistõttu suureneb taime vastupanuvõime mehhaanilistele vigastustele. Toote neutraalne pH 7 võimaldab OPTYSIL® kasutamist paagisegus teiste laialdaselt kasutatavate leheväetiste ning taimekaitsevahenditega.

OPTYSIL® kasutamiseks on erinevaid meetodeid: lehekaudne pealtväetamine pritsiga kui ka kasutamine niisutus- ja kastmissüsteemides. Oluline on kasutada preparaati ennetavalt enne stressitingimuste teket. Maksimaalne preparaadi norm ühel pritsimiskorral on 0,5l/ha. Optimaalne on teostada pritsimisi kolmes korduses.



Joonis 3. Optysil® pakend

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Katsete korraldamine ja läbiviimine

2.1.1 Põldkatse I Viljandi katsekeskuses

Antud töö oli katsepõhine. Räni väetise mõju väljaselgitamiseks odrale rajati kaks katset, põldkatse I Viljandi katsekeskuse katsepõldudele ning põldkatse II tootmispõllule Valgamaale.

Põldkatse I rajati 2020. aasta kevadel Viljandi katsekeskuse põldudele räni väetise mõju väljaselgitamiseks odrale. Mulla šifriteks katselappidel oli Klg ehk gleistunud leetjas muld ja LP ehk pruun näivleetunud muld, mille lõimiseks oli saviliiv ja kerge liivsavi. Mulla pH oli 5,7 ja fosfori sisaldus oli 49 mg/kg ja kaaliumi sisaldus 54 mg/kg. Huumushorisondi tüsedus katsepõldudel jäi vahemikku 25-30cm. (Maa-amet).

Katse rajati Viljandi maakonda, Matopera külas asuva Viljandi katsekeskuse põldudele. Külviks valiti suviadra sort „KWS FANTEX“ (Viru Seeme) kulunormiga 450 idanevat seemet/m², mis külvati 3 cm sügavusele reavahega 20 cm . Katselapid külvati 11. mail ning taimed tärkasid 18.mail.

Katselapid jagati kahte gruppi, esimene oli kontroll grupp, milles lisaks ränile (Si) täiendavaid NPK põhiväetisi ei lisatud ning teine grupp, kus anti lappidele täiendavalt makroelemente toimeaines kulunormidega N – 100kg, P – 80kg ja K – 140kg/ha (joonis 4). Räniga variante pritsiti Optysil leheväetisega võrsumisfaasis (BBCH 21-29), kõrsumise lõpus lipulehe moodustumisel (BBCH 39) ning loomisfaasis, normiga 0,5 L/ha. Vastavalt vajadusele kasutati osades variantides seenhaiguste tõrjumiseks fungitsiide „Variano Xpro“ kulunormiga 1l/ha ja „Inputi“ 0.17 l/ha. Umbrohutõrje teostati herbitsiidiga „Ariane S“ kulunormiga 2l/ha. Kõiki katsevariante tehti mõlemas grupis neljas korduses. Kokku oli 16 erinevat katselappi, suurusega 10 m².

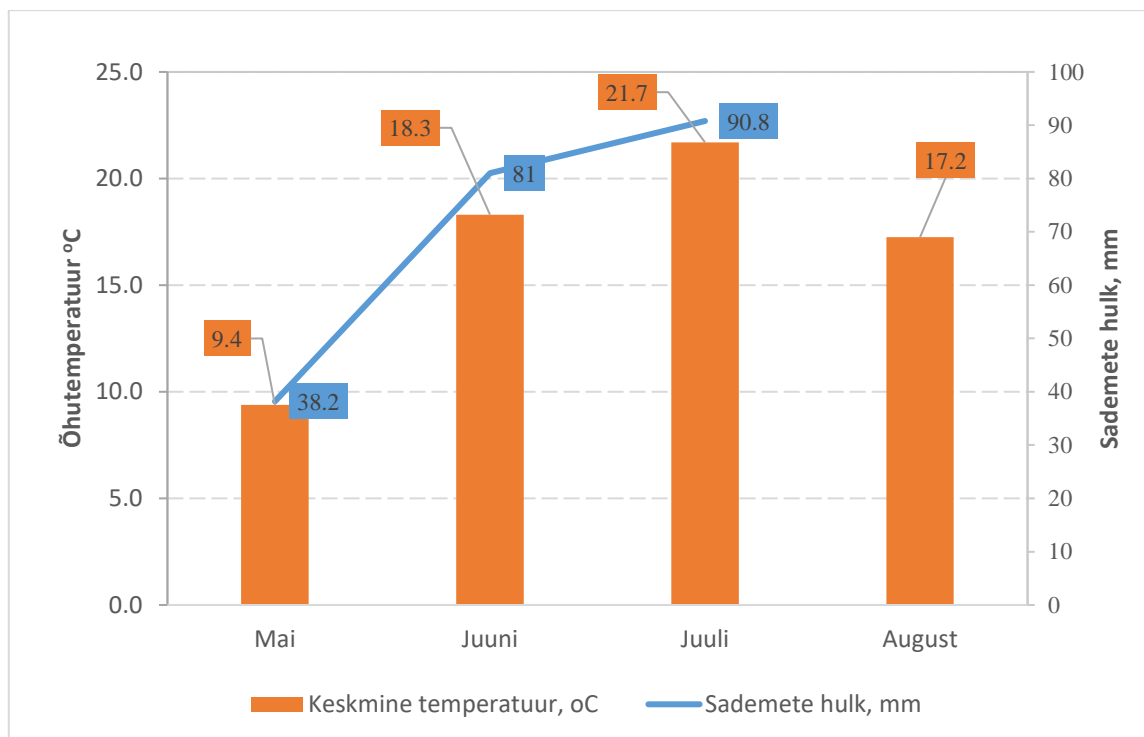
| Väetamata | | +NPK: N100, P80, KK140 | |
|-----------|----------|------------------------|-----------------|
| Kontroll | +Si | NPK Kontroll | NPK +Si |
| +Si | Kontroll | NPK +Si | NPK Kontroll |
| Kontroll | +Si | NPK Kontroll | NPK +Si |
| +Si | Kontroll | NPK +Si | NPK Kontroll |

Joonis 4. Katseplaan Viljandi katsekeskuses, põldkatse I

Analüüsimiseks koguti katselappidelt üldbiomassi proove 0,25m² suuruse metallruuduga. Proove koguti katsealadelt neljal korral: 17. juunil, 16. juulil, 3. augustil ning 16. augustil. Kõik kogutud proovid kuivatati, ning kaaluti absoluutkuivana nii üldbiomass, kui ka lehtede, varte ja peade mass. Lisaks sorteeriti rohelised ja kolletunud lehed eraldi ning arvutati roheliste lehtede osakaal kõigi katsevariantide puhul protsentides.

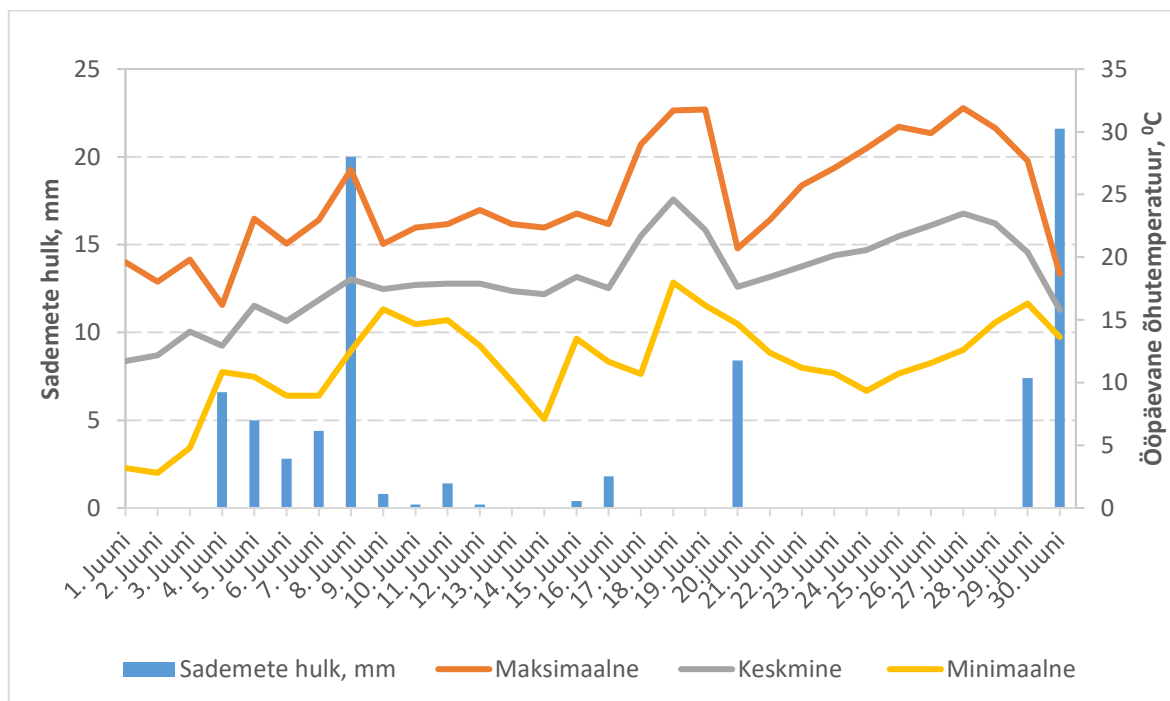
2.1.1.1 Kliimatingimused põldkatses I

Katsekohas koguti ilmastikuandmeid 2020. aastal nelja kuu vältel - mai algusest augusti teise dekaadi lõpuni (joonis 5). Andmed ilmastikutingimuste kohta pärinevad Viljandi katsekeskuse vahetus läheduses paiknevast ilmajaamast. 2020. aasta vegetatsiooniperioodi iseloomustas äärmiselt põuane ning kuum suvi.



Joonis 5. Ilmastikutingimused katseperioodi vältel 2020. aastal Viljandis.

Kogutud ilmaandmete põhjal selgus, et alates kõrsumisfaasist (15.06.2020) oli veekättesaadavus katsepõllul pärsitud (joonis 6).



Joonis 6. Juuni kuu kliimaandmed katsepõllul Viljandis 2020.

2.1.2 Põldkatse II tootmispõllul Valgamaal

Antud töö raames uuriti ka Optysil ränipreparaadi mõju suviodule tootmiskatses (Põldkatse II). Tootmiskatse põld külvati 15. mail 2020. aastal Valgamaale. Sordiks valiti suvioder „Laureate“ (Dotnuva Baltic), külvati külvisenormiga 450 idanevat seemet/m². Tootmiskatses oli kokku 6 katselappi jagatud kahte gruppi – 4 väetamata katselappi ning 4 väetatud varianti väetusfooniga 100 kg/ha lämmastikku, 23 kg/ha fosforit ning 75 kg/ha kaaliumi. Lämmastik ning fosfor laotati põllule puisturiga külvi eelselt, kaalium paikselt kombineeritult külvi. Mõlemas grupis oli kontroll variant, kuhu täiendavat Optysil räni leheväetist ei pritsitud.

Muld tootmiskatse põllul oli LP ehk pruun näivleetunud muld. Mullaproovide analüüside tulemusena määrati katsepõllu mulla orgaanilise süsiniku sisalduseks 2,4%, fosfori sisalduseks P 160 mg/kg ning kaaliumis sisalduseks 180 mg/kg (tabel 1). Muld antud katses oli nõrgalt happeline pH (KCI) = 6,3.

Tootmiskatse põllu eelviljaks oli suviraps, sügisel peale koristust randaaliti põld varise idanemise soodustamiseks ning taimejäänuste mullaga segunemiseks. Kevadel randaaliti põld teist korda enne külvi, tagamaks korrektse seemnepõhja ning mullastruktuuri. Umbrohutõrjeks kasutati kõikides katsevariantides kombineerituna herbitsiide TBM 75 WG kulunormiga 10g/ha ning ZYPAR -i kulunormiga 0,5 l/ha. Haigustõrje teostati fungitsiidiga Falcon forte kulunormiga 0,8 l/ha. Optysil räni leheväetist pritsiti katses kolmes korduses võrsumise lõpus (BBCH 29), kõrsumise lõpus kui lipuleht oli moodustunud (BBCH 39) ning loomise lõpufaasis (BBCH 59).

Tabel 1. Mullaanalüüsi tulemused tootmiskatses

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Mullašiffer | LP – Pruun näivleetunud muld |
| Fosfori sisaldus | P 160 mg/kg |
| Kaaliumi sisaldus | K 180 mg/kg |
| Orgaaniline süsinik | Corg 2,4% |
| Mulla reaktsioon | pH 6,3 |

Üldbiomassi proovid koguti kõigilt katsevariantidelt 0,25m² proovivõtmise ruuduga, tootmiskatselt kogutud üldbiomassiproovid kuivatati ning kaaluti laboris analüütilise kaaluga. Saadud tulemused arvutati ümber 1m² kohta. Kirjeldav statistika iseloomustab iga variandi kolme korduse keskmist tulemust. Vearibad joonise tulpadel tähistavad standardviga, mis tähistavad saadud keskmise tulemuse statistilist usutavust.

2.2 Kvaliteedi analüüsid

Pärast koristamist koguti mõlema põldkatse kõikidelt variantidelt 100 g terasid. Odra terasaagi kvaliteedi kirjeldamiseks määrati teradest N sisaldus Eesti Maaülikooli Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituudis. Iga katsevariandi keskmine tulemus arvutati 3 korduse põhjal.

Proovid koguti kõikidelt katsevariantidelt neljas korduses 0,25m² suuruselt pinnalt, mis teisendati hiljem ümber 1m² kohta. Iga variandi kohta tehti kirjeldav statistika MS Office Excel programmiga, kasutades selleks kirjeldavat statistikat. Iga katsevariandi puhul arvutati biomassi keskmine kaal g/m² nelja korduse põhjal ning lisati joonise vearibadele standardvead, mis näitavad keskmise näitaja usutavust/varieeruvust korduste lõikes.

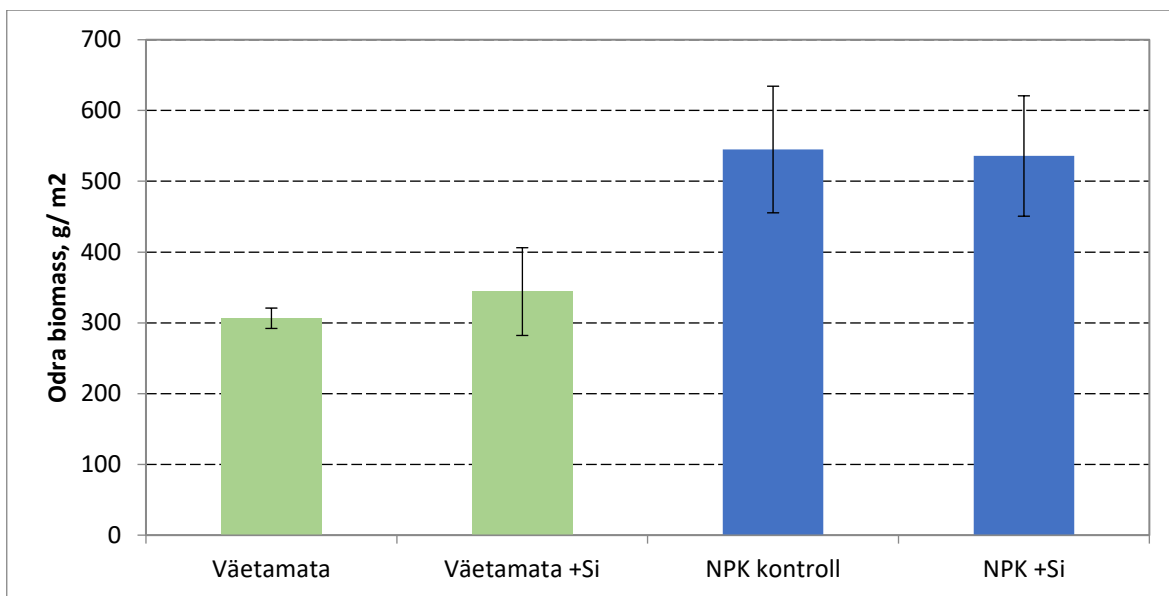
3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Põldkatse I üldbiomass ja roheliste lehtede osakaal

Taime maapealne biomass on oluline efektiivse fotosünteesi toimumiseks. Mida rohkem on fotosünteesivat pinda (peamiselt rohelist lehed ning ka varred, kus on kõrge klorofüllide sisaldus), seda enam muundatakse anorgaanilist süsinikku (CO_2), vett (H_2O) ja mineraalaineid päikeseenergia abil keemiliseks energiaks milleks on süsivesikud, peamiselt glükoos, fruktoos ning tärklis. Seega suure terasaagi saamiseks on oluline tagada taimede sobilikud kasvutingimused (toitained, agrotehnika, mullastruktuur) ning hoida taimed terved ning rohelised võimalikult kaua, et saaks toimuda võimalikult efektiivne fotosüntees.

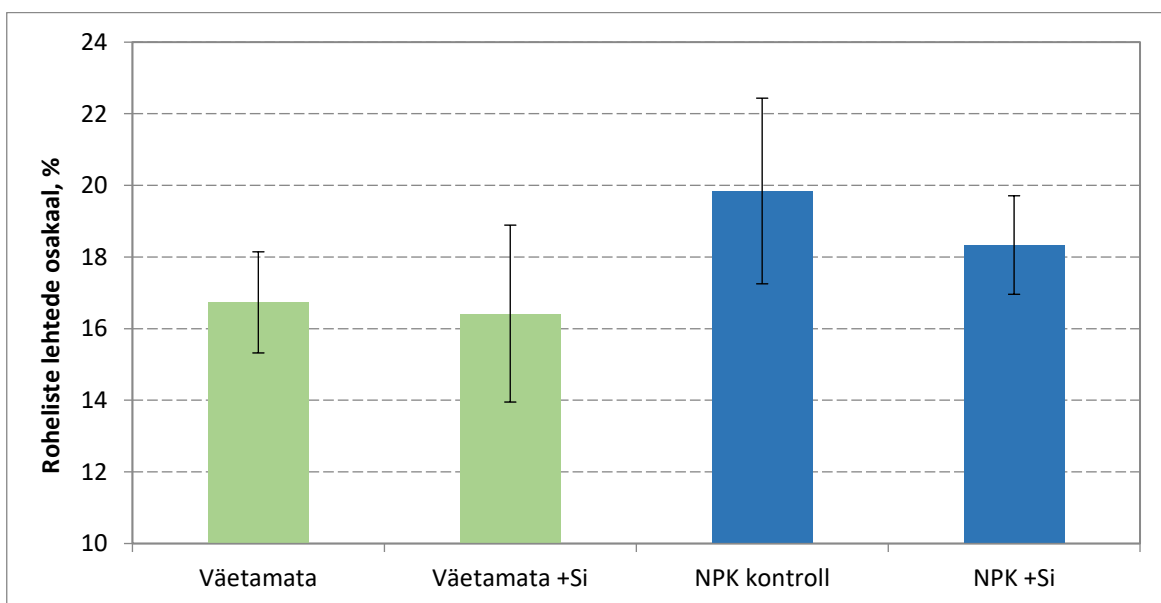
Katseaastal esines katsepõldudel põuaperioode. Põuastress mõjutab suuresti toitainete omastamist taime poolt. Paljude taime kasvuks ja arenguks vajalike toiteainete nagu lämmastik, magneesium, kaltsium, ning räni omastamine on põuatingimuste korral häiritud. Toitainete omastamine toimub läbi juure difusiooni käigus, põua korral on vee ja toitainete liikumine taime pärsitud (Barber, 1995).

Esmased proovid odra maapealse biomassi analüüsimiseks koguti 16. juulil 2020. aastal Viljandi katsekeskuse katselappidelt. Oder oli proovide kogumise asjaks jõudnud varajase piimküpsuse faasi (BBCH 73). Antud töös läbiviidud katses räniga väetamine piimküpsusfaasis usutavad positiivset mõju ei avaldanud (joonis 7). Väetamata kontroll variandis saadi maapealse absoluutkuiva üldbiomassi keskmiseks kaaluks $306,48 \text{ g/m}^2$, Optysil räni preparaadiga pritsitud variandi keskmiseks kaaluks saadi $344,13 \text{ g/m}^2$. NPK kontroll variandi keskmiseks maapealseks üldbiomassiks mõõdeti $544,90 \text{ g/m}^2$, räniga töödeldud variandi puhul aga $535,73 \text{ g/m}^2$. Suure standardvea tõttu statistilist usutavat erinevust katsevariantide vahel ei esinenud.



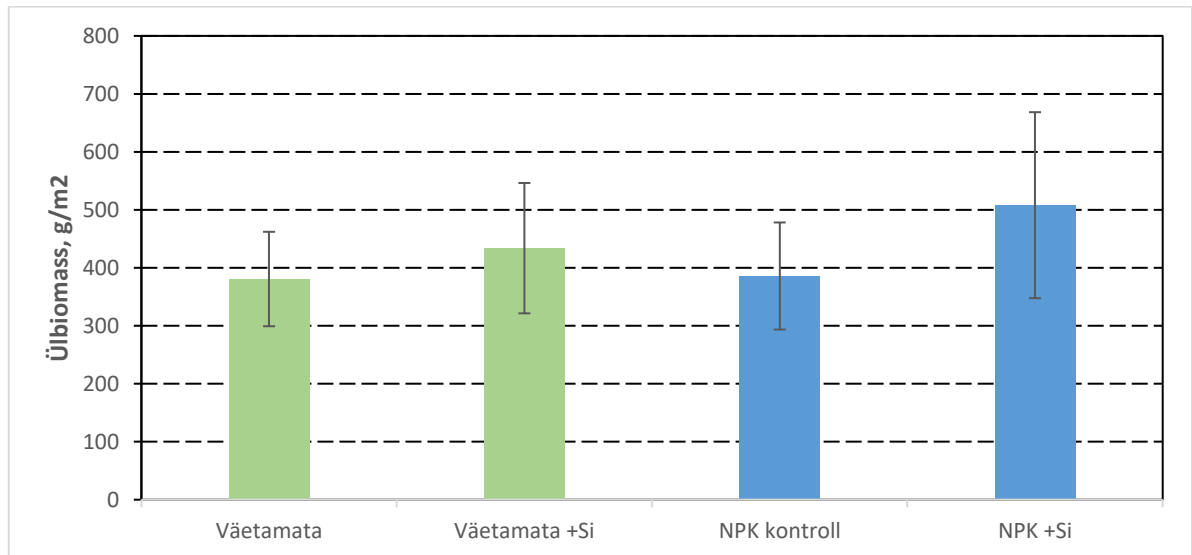
Joonis 7. Odra maapealse biomassi kaal piimküpsuse faasis absoluutkuivana põldkatses I g/m² (BBCH 73). Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

Piimküpsuse faasis kogutud proovidest määrati ka roheliste lehtede osakaal. Piimküpsuse faasis kogutud proovide analüüside tulemusena rüni lehevätis usutavat positiivset efekti odra lehemassile ei avaldanud (joonis 8). Roheliste lehtede osakaalu % ei muutunud usutavalt täiendava rüni lehevätamise tulemusena nii väetamata grupis kui ka NPK – ga väetatud variantides. Vearibad joonistel näitavad standardhälvet, suure varieeruvuse tõttu ei saa rüni mõjule usaldusväärset hinnangut anda.



Joonis 8. Roheliste lehtede osakaal üldbiomassist piimküpsuse faasis põldkatses I (BBCH 73), %. Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

Viimased proovid analüüsimiseks koguti katselappidelt täisküpsusfaasis. Lehekaudsel ränipreparaadil võis täheldada positiivse mõju trendi, kuid statistiliselt usutav mõju puudus suure standardvea tõttu (Joonis 9). Antud katse tulemus on sarnane Liu, L jt uurimusele, kus uuriti räni mõju hariliku sorgo (*Sorghum bicolor* L) biomassile osmootilise stressi tingimustes (Liu, 2014).



Joonis 9. Odra üldbiomass, g/m² täisküpsuses. Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

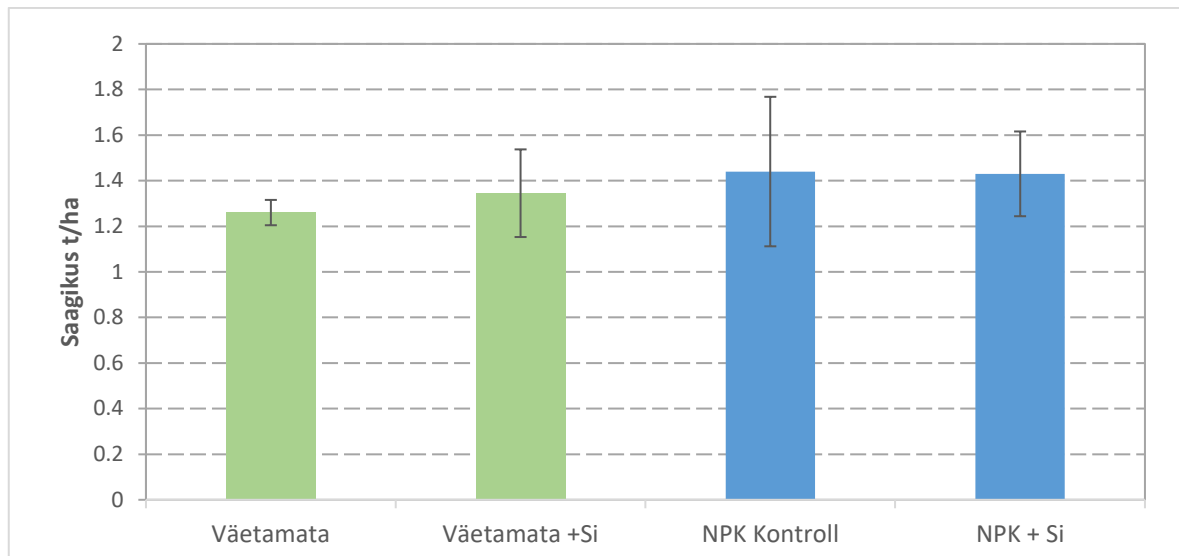
3.2 Põldkatse I saagikus

Üldine odra saagikus Viljandi katsekeskuse põldudel oli katseaastal erakordselt madal, jäädes vahemikku 1,26 t/ha – 1,44 t/ha (joonis 10). Väga madal saagikus oli ilmselt tingitud optimaalsest hilisemaks lükkunud külviajast ning juunikuu põua mõjust väikestele katselappidele kõrsumisfaasis. Põua negatiivset efekti suurendas veelgi äärmiselt intensiivne päikesekiirgus ning kõrged temperatuurid, mis juuni kuus küündisid kohati üle 30 °C, põhjustades kiiret mulla kuivamist suurenenud aurumise läbi.

Põua tõttu väheneb ka graanulväetiste efektiivsus. Väetisegraanulid vajavad lahustumiseks niiskust, kuivas mullas ei jõua väetisegraanulid mulla vesilahusesse ning toiteainete omastatavus taimedele on pärsitud.

Optysil räni preparaadi pritsimine kolmes korduses põldkatses I odra saagile statistiliselt usutavat enamsaaki ei lisanud. Oluline on pritsida preparaati profülaktiliselt enne stressitingimuste teket, vähene Optysil-i mõju antud põldkatses võib olla tingitud taimede

varasemast pritsimiseelsest stressiseisundist, mis oli tingitud hilisest külvist kuiva toitainetevaasesse mulda, millele järgnes juunikuu põud kõrsumisfaasis (Svobodová, 2004).



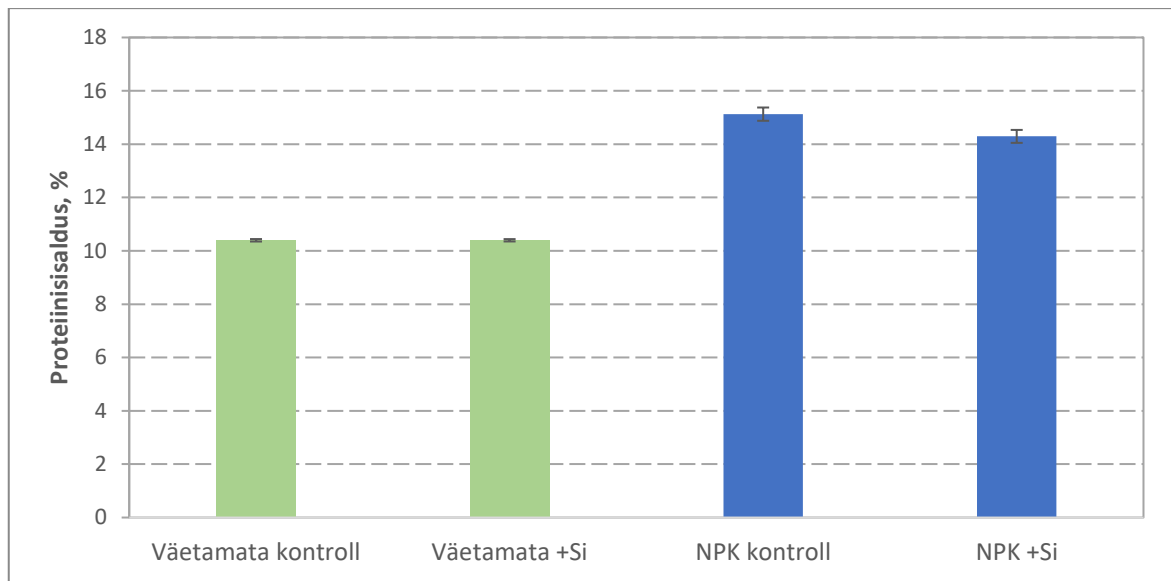
Joonis 10. Odra saagikus t/ha põldkatses I Viljandi katsekeskuses 2020. Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

3.2.1 Põldkatse I saagi kvaliteet

Proteiinisisaldus

Laboris määratud terade lämmastikuisaldusest saadi arvutuslikul teel proteiinisisaldus. Mitmete uurimuste põhjal on kindlaks määratud, et proteiin sisaldab umbes 16% lämmastikku (Tkachuk, 1969). Antud töös kasutati proteiinisisalduse leidmiseks lämmastikuisalduse korrutamist teguriga 6,25.

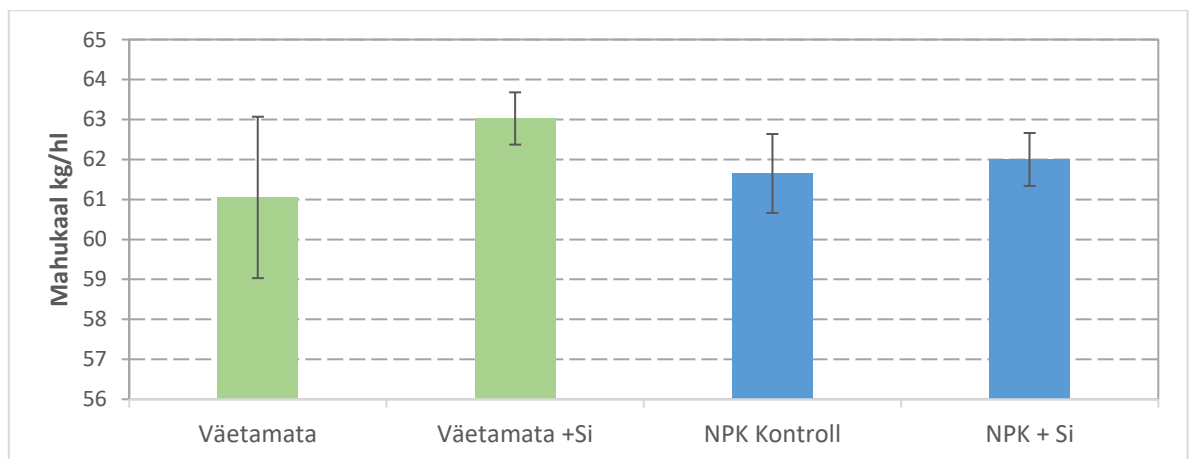
Antud katses Optysil räni leheväetise kasutamine odra proteiinisisaldusele positiivset mõju ei avaldanud (joonis 11). Väetamata katsegrupis täiendav räniga leheväetamine terade proteiinisisaldust ei mõjutanud, nii kontroll varinadi kui ka räniga väetatud katsevariandi proteiinisisalduseks saadi 10,4%. NPK-ga väetatud katsegrupi kontroll variandi proteiinisisalduseks saadi 15,1%, räniga pritsitud katsevariandi puhul määrati sisalduseks 14,3%. Räniga väetamine antud katses lämmastiku kättesaadavust mullast ei parandanud, väetatud katsegrupi kõrgem sisaldus on tingitud täiendavast lämmastikuga väetamisest (Qi, 2006), mitte Optysil ränipreparaadi mõjust.



Joonis 11. Odra proteiinisaldus põldkatses I, %. Vearibad joonisel tähistvad standardviga.

Mahukaal

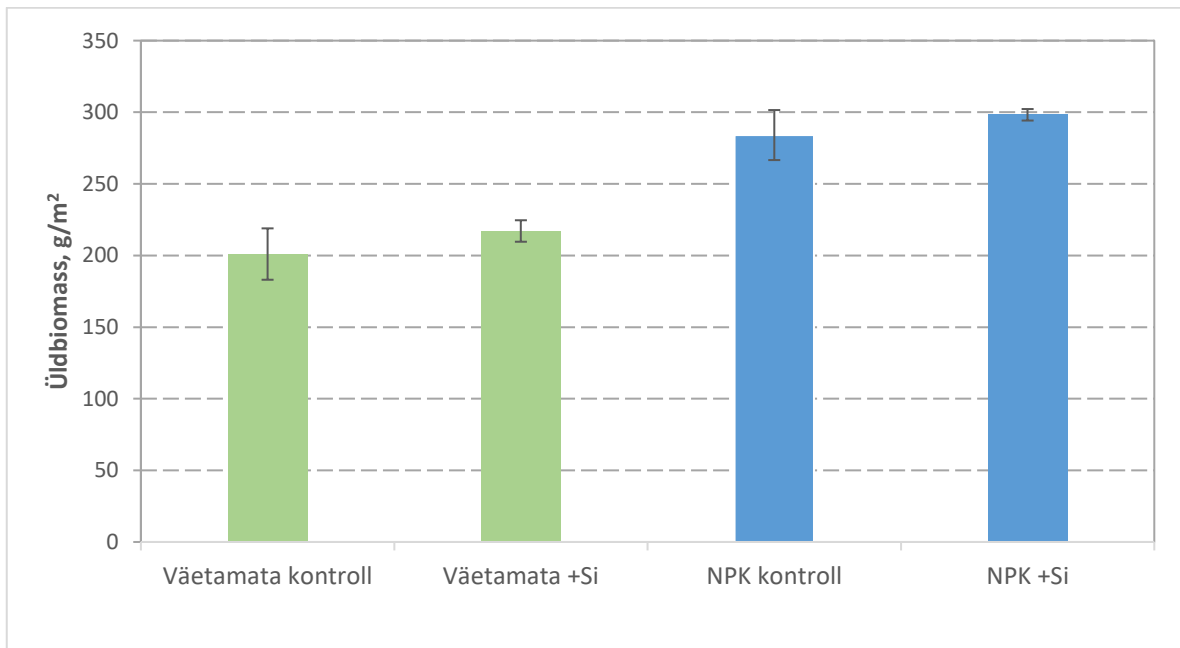
Teravilja mahukaalu mõõdetakse tavaliselt kilogrammides hektoliitri kohta (kg/hl), mis väljendab terade tihedust. Teraviljaturgudel on enamasti seatud minimaalne mahukaal nii toidu kui ka söödavilja puhul. Antud töös läbi viidud katsetes oli räniga pritsimisel odra mahukaalule küll positiivse suunaga mõju, kuid muutused jäid katsevea piiridesse, mille tõttu kindlaid järeldusi teha ei saa (joonis 12).



Joonis 12. Odra mahukaal põldkatses I, kg/hl. Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

3.3 Põldkatse II üldbiomass

Odra üldbiomass varieerus tootmiskatses 201 grammist 298 grammini (joonis 13). Väetamata grupis saadi kontroll variandi üldbiomassiks 201,0 g/m², Optysil ränipreparaadiga töödeldud katsevariandi puhul vastavalt 217,1 g/m². Väetatud grupi (N 100 kg/ha, P 27 kg/ha, K 75 kg/ha) kontroll variandi keskmiseks üldbiomassiks määrati 284,06 g/m² ning Optysil preparaadiga töödeldud variandi keskmiseks tulemuseks saadi 298,23 g/m². Optysil räni leheväetise lisamisel on üldbiomassile märgata positiivset trendi, kuid muutus jääb siiski katsevea piiridesse ning usutav erinevust antud katse tulemuse põhjal puudub.

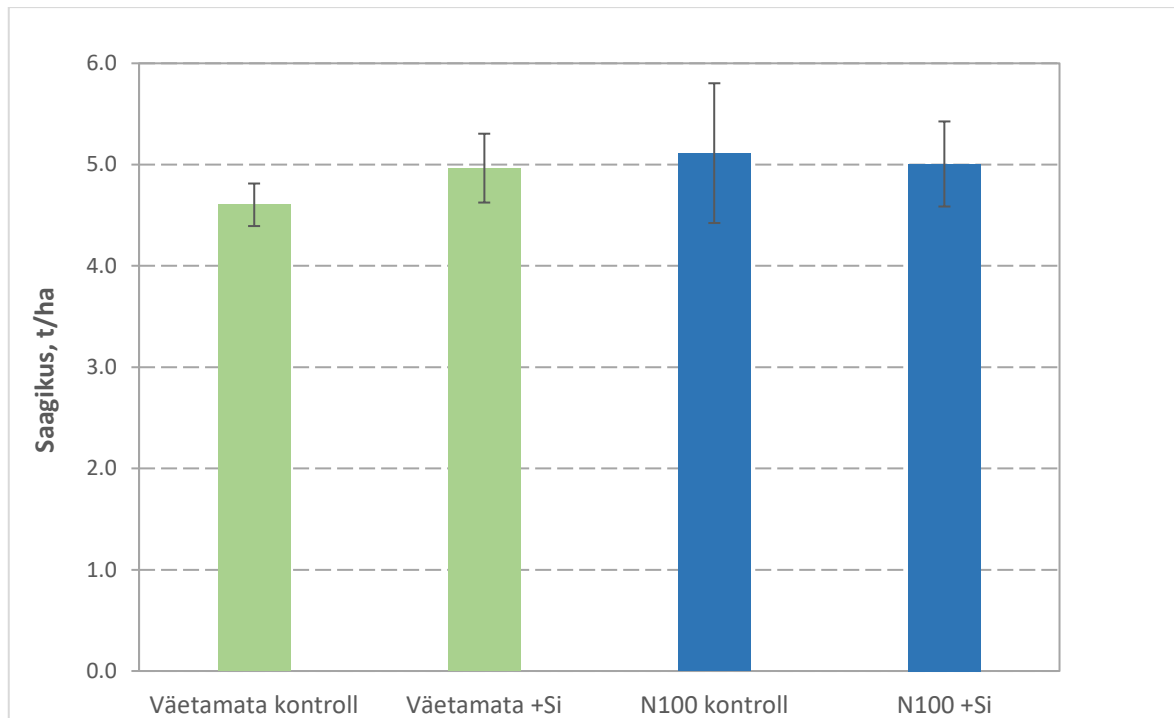


Joonis 13. Põldkatse II üldbiomass, g/m². Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

3.4 Põldkatse II saagikus

Põldkatse II saagikus jäi vahemikku 4,6 t/ha – 5,1 t/ha (joonis 14). Kõige väiksema saak 4,6 t/ha saadi väetamata kontroll variant, kuhu ei lisatud ka täiendavalt räni leheväetiseid. Kontroll variandi Optisyl räni sisaldava leheväetisega pritsitud põllul saadi saagikuseks 4,96 t/ha, mis võrreldes kontroll variandiga andis 0,362 t/ha enamsaaki. Optysil preparaadi

kasutamine aitas lisaks saagile suurendada ka odra proteiinisaldust. Kontroll variandi proteiinisalduseks mõõdeti 10,6% kuivaines ning Optysil preparaadiga pritsitud variandi proteiinisalduseks 11,5% kuivaines. Mahukaalule täiendavat positiivset efekti ei avaldunud, kontroll variandi mahukaaluks mõõdeti 557 g/l ning Optysil-iga töödeldud variandil 552 g/l.



Joonis 14. Põldkatse II odra saagikus tootmispõllul, t/ha. Vearibad joonisel tähistavad standardviga.

Põhiväetistega väetatud variantidele anti koos külvi jaoks lämmastikku normiga 100 kg/ha toimeaines, fosforit ja kaaliumi oksiidina P 23 kg/ha ning K 75 kg/ha toimeaines. Väetatud kontroll variandi odra saagikuseks saadi 5,11 t/ha. Optysil räni leheväetisega pritsimine väetatud katsevariantides enamsaaki ei andnud. Samuti ei avaldunud positiivset mõju proteiinisaldusele ega mahukaalule. Kontroll variandilt koristatud odra proteiinisalduseks määrati 11,5% ning mahukaaluks 573 g/l. Optysil-iga pritsitud variandi puhul osutus odra proteiinisalduseks 11,6% ning mahukaaluks 569 g/l.

3.5 Kliimatingimuste mõju

Vee kättesaadavus on odral eriti oluline kõrsumise algusest õitsemise lõpuni, tõsise vee defitsiidi korral kõrvalvõrsed närtsivad, mille tulemusena saagikus langeb (Svobodová, 2004). Varasemates kasvufaasides (idanemisest- võrsumise lõpuni) on ajutise põua mõju väiksem, oder suudab veetingimuste paranedes saaki osaliselt kompenseerida kasvatades järelvõrseid (Svobodová, 2004).

Antud uurimuse läbiviimise vegetatsiooniperioodil esines katsealadel põua perioode. Antud katses oli oder 15. juuniks kasvuga jõudnud kõrsumise algusesse (BBCH 30), millele järgnes põua periood. Vähesed sademed jagunesid juuni kuu lõikes ebaühtlaselt, põua negatiivset mõju suurendas veelgi suurenenud aurumine, mis oli tingitud kõrgetest õhutemperatuuridest ning intensiivsest päikese kiirgusest (joonis 6).

Vee imendumine taime toimub läbi juurekarvade osmoosi teel. Osmoosi käigus liiguvad vee molekulid läbi poolläbilaskva rakumembraani suurema kontsentratsiooniga lahusest madalama kontsentratsiooniga lahusesse.

Kui vee kättesaadavus mullast on piisav, tekib taimerakus rõhk, sellist rõhku nimetatakse turgorõhuks, surve vakuolis surub tsütoplasma vastu rakukesta venitades selle välja. Turgorõhk muudab rakuseinad tugevamaks, mis aitab taie vartel ning lehtedel püsti püsida.

Põuatingimustes võib taimedel tekkida osmootiline stress kui veemolekulide kontsentratsioon mullalahuses olla väiksem kui taimes, siis liigub vesi taimerakkudest välja põhjustades sellega taime kudede närbumist.

Räni mõju osmootilise stressile on uuritud laboritingimustes (Liu, 2014), katses uuriti räni mõju hariliku sorgo (*Sorghum bicolor* L) biomassile, veehoiuvõimele, fotosünteesile ning transpiratsiooni määrale.

Tulemustest selgus, et kontroll variandis, kus vee kättesaadavus taimedele oli tagatud, täiendav räni lisamine biomassi kasvule efekti ei avaldanud. Ajutiselt tekitatud põuatingimustes kasvatatud taimedel vähenes aga biomass 38% 3. päeva möödudes, ning 42% 7. päeva möödudes osmootilise stressi tingimustes võrreldes kontroll variandiga, kus piisav veepotentsiaal mullas oli tagatud. Räniga töödeldud taimedel vähenes biomass seevastu 12% 3. päeva möödudes, ning 15% 7. päeva möödudes (Liu, 2014).

Fotosünteesi tase kontroll variandis kõrge veepotentsiaaliga mullas räni lisamisel ei muutunud. Põuatingimustes vähenes fotosünteesi tase kontroll variandiga võrreldes märkimisväärselt, räniga töötlemata variandi puhul 38% ning räniga töödeldud variandis 12%. Samuti oli räni kasutamisel positiivne efekt lehe veepotentsiaali säilitamisele ning transpiratsioonile.

3.6 Optysil ränipreparaadi majanduslik tasuvus

Optysil räni sisaldava leheväetise hinnaks on 10.70 €/l. Antud uurimuse põldkatsetes pritsiti katsepõlde kolmes korduses kulunormiga 0,5 l/ha, kokku 1,5 l/ha kasvuperioodil. Teravilja kokkuostu hind on pidevas muutumises, 2020. aasta sügisel oli odra kokkuostu hinnaks Muuga sadamas 165 €/t (15. oktoober). Ligikaudne majanduslik tasuvus on toodud välja tabelis 2, tuleb meeles pidada, et enamsaaki saadi ainult ühelt katsevariandilt, seega antud uurimuse põhjal kindlaid järeldusi preparaadi majandusliku tasuvuse kohta teha ei saa.

Tabel 2. Optysil ränipreparaadi tasuvus põldkatses II

| Toode | Hind €/l | Kulu €/ha | Enamsaak t/ha | Kasum €/ha |
|---------|----------|-----------|---------------|------------|
| Optysil | 10,70 | 16,05 | 0,362 | 43,68 |

4. KOKKUVÕTE

Oder (*Hordeum vulgare*, L) on vahemere idakaldalt pärit üks vanimaid teraviljakultuur, mille esmaseks kultiveerimise algusajaks on määratud umbes 8000 aastat e.m.a. Oder on maailmas kasvupinnalt neljas teraviljakultuur, mida kasvatatakse ligikaudu 50. miljonil hektaril. Oder on oluline söödakultuur, mida kasutatakse peamiselt jõusöödana veiste ning sigade söödaratsioonides.

Uurimustöö eesmärgiks oli välja selgitada kas lehekaudse räni väetise mõjul suureneb suviadra üldbiomass, paraneb saagikus ning saagi kvaliteet erinevates kasvutingimustes.

Antud uurimustöö oli katsepõhine, 2020. aasta suvel viidi läbi kaks erinevat põldkatset. Põldkatse I rajati Viljandi katsekeskuse katsepõldudele ning põldkatse II Valgamaal asuvale tootmispõllule. Mõlemas põldkatses uuriti Optysil® räni leheväetise mõju kahes grupis. Esimene grupp täiendavaid põhiväetisi ei saanud, ning teises katses anti põllule täiendavaid NPK väetiseid, põldkatses I oli väetusnormiks N100 kg/ha, P80 kg/ha, K140 kg/ha ning põldkatses II tootmispõllul N100 kg/ha P23 kg/ha K75 kg/ha. Kõigis katsevariantides oli kontroll variant, kuhu Optysil® räni leheväetiseid ei lisatud.

Põldkatses I oli lehekaudsel räni leheväetamisel positiivse trendiga mõju odra üldbiomassile täisküpsusfaasis, kuid suure katsevea tõttu usutavat erinevust katsevariantide vahel polnud. Samuti ei mõjutanud räniga väetamine põldkatses I odra terasaaki ega saagi kvaliteeti.

Põldkatses II tootmispõllul avaldus räni positiivne mõju NPK-ga väetamata katsevariandi puhul. Võrreldes kontroll variandiga saadi räniga pritsitud katsevariandilt enamsaaki 0,362 t/ha. NPK-ga väetatud katsegrupis positiivne mõju saagikusele puudus.

Järgmistel aastastel tuleks katset korrata, et uurida erinevate turul pakutavate räniväetiste mõju teraviljadele Eesti kliimatingimustes, vähene räni leheväetise mõju, ning madal saagikus põldkatses I võis olla tingitud taimede eelnevast pritsimisest stressiseisundist, mis oli tingitud optimaalsest hilisemaks lükkunud külviajast ning sellele järgnenud põuaperioodist.

5. KASUTATUD KIRJANDUS

- Alam SM, A. W. (1980).** Effects of aluminium upon the growth and nutrition composition of oats. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 23:130–135.
- Alam, S. M. (1981).** Influence of aluminium on plant growth and mineral nutrition of barley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 12(2), 121-138.
- Barber, S. A. (1995).** Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. *John Wiley & Sons*.
- Bergmann, W. (1992).** Nutritional disorders of plants: visual and analytical diagnosis.
- Bitá C, G. T. (2013).** Plant tolerance to high temperature in a changing environment: : scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front Plant Sci*, 4:273.
- Bona L, W. R. (1993).** Screening wheat and other small grains for acid soil tolerance. *Landscape and Urban Planning*, 27(2-4):175–178.
- C, E. (1998).** Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 69, 139–144.
- Clarkson, D. T. (1966).** Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*, 41(1):165-72.
- Crawford AJ, M. D. (2012).** High temperature exposure increases plant cooling capacity. *Curr Biol* , 22(10):R396–R397.
- Epstein, E. (1999).** Silicon. *Annual review of plant biology*, 50(1), 641-664.
- Epstein, E. (1999).** Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. *Annual reviews*, 50:641–664.
- Faostat. (2010).** How to Feed the World in 2050. [veebileht]
http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- Fauteux, F. R.-B. (2005).** Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology letters*, 249(1), 1-6.
- Fauteux, F. R.-B. (2005).** Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett*, 249, 1–6.

- Foy, C. D. (1967).** Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Journal*, 31(4), 513-521.
- Foy, C. D. (1983).** The physiology of plant adaptation to mineral stress. *Iowa State J Res*, 57:355–391.
- Foy, C. D. (1984).** Physiological Effects of Hydrogen, Aluminium and Manganese Toxicities in Acid Soils. rmt: F. Adams, *Soil Acidity and Liming* (lk 57-97). American Society of Agronomy.
- Foy, C. D. (1987).** The physiology of metal toxicity in plants. *Annual review of plant physiology*, 29(1), 511-566.
- Foy, C. D. (1988).** Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(7-12), 959-987.
- Foy, C. D. (1992).** Soil Chemical Factors Limiting Plant Root Growth. rmt: J. L. Hatfield, *Limitations to Plant Root Growth* (lk 97–149). New York: Springer.
- Greer DH, W. M. (2012).** Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant Cell Environ*, 35:1050–1064.
- Hammond, K. E. (1995).** Aluminium/silicon interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant and soil*, 173(1), 89-95.
- Hodson MJ, W. P. (2005).** Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany*, 96:1027–1046.
- Hossain, M. Z. (2005).** A reliable screening system for aluminium tolerance in barley cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(5), 475-482.
- Hussain I, A. M. (2016).** Heat shock increases oxidative stress to modulate growth and physico-chemical attributes in diverse maize cultivars. *Int Agrophys*, 30(4):519–531.
- Inanaga, S. O. (1995).** Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Soil science and plant nutrition*, 41(1), 111-117.
- Ishikawa S, W. T. (2000).** Comparison of the amount of citric and malic acids in Al media of seven plant species and two cultivars each in five plant species. *Soil Sci Plant Nutr*, 46:751–758.

- Kanger, J. K. (2014).** *Väetamise ABC*. Tartu: Põllumajandusuuringute keskus. lk16-42
- Kochian, L. (1995).** Cellular mechanism of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 46(1):237–260.
- Lamb, R. S. (2012).** Abiotic Stress Responses in Plants. *Department of Molecular Genetics*, 1-21.
- Liu, P. Y. (2014).** Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Journal of experimental botany*, 4747-4756.
- Ma JF, M. Y. (2001).** Silicon as a beneficial element for crop plants. *Silicon in agriculture*, 17-39.
- Qi, J. C. (2006).** Protein and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to beta-amylase activity. *Journal of Cereal Science*, 102-107.
- Soundararajan P, S. I. (2014).** Influence of silicon supplementation on the growth and tolerance to high temperature in *Salvia splendens*. *Hort Environ Biotech*, 55:271–279.
- Svobodová, I. &. (2004).** Effect of drought stress on the formation of yield elements in spring barley and the potential of stress expression reduction by foliar application of fertilizers and growth stimulator. *Plant Soil and Environment*, 439-446.
- Tkachuk, R. (1969).** Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Cereals and Oilseed. Winnipeg, Manitoba: Grain Research Laboratory.
- Todorov D, K. E. (2013).** Chlorophyllase activity and chlorophyll content in wild and mutant plants of *Arabidopsis thaliana*. *Acta biochimica Polonica*, 46:125–127.
- Wahid A, G. S. (2007).** Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61:199–223.
- Wahid A, G. S. (2007).** Heat tolerance in plants: An overview. *Environ Exp Bot*, 61:199–223.

LISA 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Sander Valdre,

(sünnipäev pp/kuu/aa: 07.01.1998, 39801075247)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Räni väetise mõju odra kasvule ja arengule,

mille juhendaja on Evelin Loit, Kristjan Tiideberg

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor: _____ Sander Valdre _____

allkiri

Tartu, 20.05.2021

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____Evelin Loit_____

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)

_____Kristjan Tiideberg_____

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)